擴散係數對臺北都會懸浮塵微粒濃度之影響

Surface Layer Eddy Diffusivity Gradient and Taipei Metropolitan PM10 Concentration

莊 秉 潔

Ben-Jei Tsuang

國立中興大學環境工程系所副教授

Department of Environmental Engineering

National Chung-Hsing University

Taichung, Taiwan 40227, R.O.C.

摘 要

本研究旨在探討風向、風速、雨量、擴散係數、混合層高等微氣象因子對都市空氣品質中PM10之濃度影響，尤其强調擴散係數。採用民國79年板橋站之資料作爲案例研究。研究顯示板橋地區之PM10濃度受風速、雨量、擴散係數及污染物之累積等之影響較大，與混合層高之關係較小。發現在未下雨時，若板橋測站其離地1.7米(11 gpm)高之風速小於1 m/s且地表層擴散係數直增率小於0.01 m/s時，有80％之機率PM10之濃度會超過200 μ g/m^3，而且全年最高值11月3日的916 μ g/m^{3}也在這條件發生的。一般而言，高濃度之PM10與擴散係數相關較高，中低濃度則與風速之相關度較高。除此之外，污染物之累積可達兩天。

關鍵詞：懸浮微粒、空氣品質、微氣象學、擴散係數

ABSTRACT

This research studied the relationship of wind speed, rain, surface layer eddy diffusivity gradient and mixing height with PM10 concentration in Taipei metropolitan, especially emphasized on diffusion coefficient. By using the data of 1990, it was found that the PM10 concentration was strongly associated with wind speed, rain, surface layer eddy diffusivity gradient and the accumulation of PM10 concentration, but with little association with mixing height. During rainless day, if the wind speed at 1.7m height was less than 1 m/s and eddy diffusivity gradient was less than 0.01 m/s, there was eighty percent of time that the PM10 concentration was larger than 200 μ g/m^3. The highest concentration of 916 μ g/m^3 on November 3rd was happened in this condition. In addition, the PM10 can accumulate for two days.

Key Words：PM10, air quality, micrometeorology, diffusion coefficient

前　　言

空氣污染的擴散中，混合層高度、逆溫層高度、大氣穩定度及風速皆是極重要的參數。

目前國內外很少人研究大氣穩定度對都市空氣品質之影響，但有不少學者研究其它氣象參數之影響(張和簡 1986；蔡等 1988；李等 1989；吳和王 1990)。一般而言。通風指數(風速乘以混合層高)是公認影響都市空氣品質之重要指標。而在李清勝(1990)對大台北地區空氣污染指標(PSI)與不同氣象參數之相關研究中，李發現PSI與混合層高，污染物可擴散之空間愈大，濃度愈稀，PSI值愈低，其關係應爲負相關)。而通風指數與PSI或PM10的迴歸隨著季節的變化而只有低度或中度之相關，因此通風指數能否作爲台北都會區之空氣品質指標亦成了疑問。

綜合其給論爲空氣品質與通風指數及溫、濕度等單一氣象因子，相關性不高(李 1990)。而在張能復(1989，1990)對大台北之混合層高調查中他發現大台北之混合層較洛杉磯等地爲高。因此PSI 與混合層呈現不合理之關係，可能因混合層較高，污染物並沒有擴散滿整個混合層。在這種情況下，污染物之擴散之範圍受風速及大氣穩定度(即擴散係數)的影響較大。

至於大氣穩定度，除了與溫度場有關外，與地表熱平衡及動量平衡有關如Monin-Obukhov Length及Richardson Number皆可根據地表熱平衡及動量平衡之理論求得(Anderson 1976；Fsuang 1990；李 1985)；而地表熱平衡則與當地之輻射能、地表溫度、風速、濕度及地表覆蓋物有密切關係(Anderson 1976；Brutsaert 1982；Ode 1987；Landsberg 1981)。至於動量平衡則與風速及當地之地形有關，尤其空氣污染嚴重之都市區，地表之粗糙度(Roughness)較鄉村爲大，進而影響地表邊界與風速場之改變(Holzworth 1972)。

由於可知，都市空氣污物的傳播之複雜性，不但受各種氣象因子及地形交互影響，而且

其影響常是非線性的，因此實有必要發展一套方法及理論，涵蓋這些因子，及其相互間的交錯關係，而其中尤須注意擴散係數之影響。

擴散係數之理論

擴散係數爲地表熱平衡及動量平衡中，代表大氣渦流擾動所造成污染物之擴散能力。如果擴散係數大，表示污染物容易被擴散，反之則不易被擴散。在地表層，其含蓋高度從地面至100 公尺高，在這區域內其擴散係數隨高度呈線性增加。擴散係數之求法可利用探空資料地表層中任意兩層之溫度濕度及風速求得。其擴散係數增加之斜率可以下式表之(Brutsaert 1982)：

$$m_D = \frac{k \cdot u^*}{\ln((Z_h - d_o)/(Z_l - d_o)) - \psi_{sv}((Z_h - d_o)/L) + \psi_{sv}((Z_l - d_o)/L)} \quad (1)$$

其中mD爲擴散係數隨高度之變化率或直增率(m/s)，Zh爲上一層大氣之高度(m)，Z1爲下一層大氣之高度(m)。另外L爲Monin-Obukhov Length，是地表熱平衡模式中，大氣穩定度的一個定量數值，其求法是先解出地表熱平衡之水汽蒸發熱通量(latent heat flux)，可感熱通量(sensible heat flusx)，摩擦風速(friction velocity)，而後求去大氣之Monin-Obukhov length，公式如下(Anderson 1976；李 1985)。。

$$L = \frac{-u_*^3 \rho}{kg(H/(T_l c_p) + 0.61E)} \quad (2)$$

$$u^* = \frac{k(u_h - u_l)}{\ln((Z_h - d_o)/(Z_l - d_o)) - \psi_{sm}((Z_h - d_o)/L) + \psi_{sm}((Z_l - d_o)/L)} \quad (3)$$

$$L_v E = \frac{-ku^* \rho L_v (q_h - q_l)}{\ln((Z_h - d_o)/(Z_l - d_o)) - \psi_{sv}((Z_h - d_o)/L) + \psi_{sv}((Z_l - d_o)/L)} \quad (4)$$

$$H = \frac{-ku^* \rho c_p (T_h - T_l)}{\ln((Z_h - d_o)/(Z_l - d_o)) - \psi_{sh}((Z_h - d_o)/L) + \psi_{sh}((Z_l - d_o)/L)} \quad (5)$$

式中之u*爲摩擦風速(Friction velocity)(m/s)，LvE爲水汽蒸發熱通量(latent heat flux)(W/m^2)，H爲傳向上層之可感熱通量(sensible heat flux)(W/m^2)，Lv爲水蒸汽發熱(J/kg) ，E爲水汽蒸速發速率(kg/m^2/s)，ρ 爲空氣密度(kg/m^3)，c_p爲乾空氣的比熱(15 J/kg/° K) ，u_h及u_l分別爲大氣地表層中高層與低層之風速 (m/s)，T_h及T_l各爲大氣中高層與低層的溫度(° K)，q_h各q_l各爲大氣中高層與低層的比濕(specific humidities)，k爲von Karman constant(k＝0.4)，g 爲重力加速度(9.8 m^2/s)，d_o爲zero-plane displacement height(m)，其公式如下

$$d_o = (2/3) \times 7.35 Z_o \quad (6)$$

而Zo爲地表粗糙度(m)，Ψsm是質量穩定方程式(mass stability function)，Ψsh是熱穩定方程式(heat stability function)Ψsv是水汽穩定方程式(water vapor stability function)，當大氣穩定

時[$\xi = (z-d_o)/L > 0$]

$$\psi_{sm}(\zeta) = \psi_{sh}(\zeta) = \psi_{sv}(\zeta) = \begin{cases} -\beta_s\zeta, 0<\zeta\le 1 \\ -\beta_s, \zeta>1 \end{cases}, \beta_s = 5 \qquad (7)$$

大氣不穩定時[$\xi = (z-d_o)/L < 0$]

$$x = (1 - \beta_u \zeta)^{1/4}, \quad \beta_u = 16 \qquad (8)$$

$$\psi_{sm}(\zeta) = 2\ln\left[\frac{1+x}{2}\right] + \ln\left[\frac{1+x^2}{2}\right] - \tan^{-1}x + \frac{\pi}{2} \qquad (9)$$

$$\psi_{sh}(\zeta) = \psi_{sv}(\zeta) = 2\ln\left[\frac{1+x^2}{2}\right] \qquad (10)$$

板橋案例研究

本研究之資料採用氣象局橋站之探空資料，台北測站之雨量資料其探空料包括了各層之高度、氣溫、風向、風速、露點、相對溼度及氣壓的資料值板橋探空站位於海拔 9.3公尺。而台北測站位於海拔 8公尺。除了雨量是利用台北測站的資料外，其他的氣象因子仍是採用板橋探空資料。而空氣品質資料乃根據民國79年環保署板橋測站的資料，加以整理統計。

表1 爲79年每日上午八時PM10濃度與在海拔11米高之風速，擴散係數直增率及台北站之雨量及當地混合層高之關係表。因限於篇幅只列出冬季之資料。其中擴散係數直增率之求法如前節所述。公式中兩層之資料爲1000 mb高及11 gpm之資料。而混合層高之求法乃利用Holzworth (1972)所提出的絕熱直減率法，以地面溫度沿絕熱直減率上升與垂直向溫度剖面之交點高度作爲混合層高度。上述之地面溫度是以板橋測站的探空資料中的第一層 (11 gpm)的空氣溫度再加上一固定值求出(本研究使用2℃)，計算方法可參考(江等 1991)。表中PM10濃度大於200 μ g/ m^3 ，擴散係數直增率小於 0.01 m/s及風速小於1 m/s者，則將特別加框。其中擴散係數直增率小於0.01 m/s者大部份發生在冬季。

注意表中在不下雨之情況每當擴散係數直增率小於0.01 m/s且風速小於1 m/s，則 PM10之濃度急劇增加。例如1月18日從93 mg/m^3 增加到241 μ g/m^3 ；11月6日從237 μ g/m^3 增加到425 μ g/m^3 ；11月9日從192 μ g/m^3 增加到916 μ g/m^3 ；11月20日從412 μ g/m^3 增加到526 μ g/m^3 ；12 月14日從195 μ g/m^3 增加到550 μ g/m^3 ；12月25日從113 μ g/m^3 增加到313 μ g/m^3 ；12月28日從108 μ g/m^3 增加到305 μ g/m^3 。

另外以統計之眼光來看，在全年每日早上八時之資料，PM10 濃度大於200 μ g/m^3 之天數中，同時擴散係數直增率小於 0.01 m/s且風速小於1 m/s者有10天。在這年中合乎風速及擴散係數直增率小於上述值，但PM10 濃度低200 μ g/m^3 者僅有二天。而合乎風速小於1 m/s，但 PM 10大於200 μ g/m^3 者有51天，小於者有 46 天。合乎擴散係數直增率小於 0.01 m/s，但 PM

表一　79年早上八時板橋地區空氣品質與微氣象因子關係表，表中mD為地表層擴散係數直增率(m/s)，u為地表1.7m高之風速(m/s)，rain為降雨量(mm/12hr)，MXH為混合層高(m).

日期			PM10 ug/m3	SOx ppb	NOx ppb	CO ppb	擴散係數直增率 m/s	風速 m/s	降雨 mm/12h	混合層高 m
79	1	1	78	8	.	.	0.091	3.5	9.5	146
79	1	2	37	4	.	.	0.128	2.0	1.2	149
79	1	3	92	30	.	.	0.133	2.5	1.0	204
79	1	4	151	33	209	.	0.116	2.5	2.3	209
79	1	5	144	16	145	.	0.096	3.0	0.0	203
79	1	6	158	11	242	.	0.113	0.1	0.4	207
79	1	7	96	.	188	.	0.181	4.0	0.0	222
79	1	8	79	.	175	.	0.069	3.0	4.7	190
79	1	9	196	63	167	.	0.003	0.8	0.0	149
79	1	10	109	30	150	.	0.011	2.0	0.0	.
79	1	11	103	12	106	.	0.068	3.3	0.0	173
79	1	12	84	6	60	.	0.193	0.1	0.0	183
79	1	13	126	16	.	.	0.174	4.3	0.0	198
79	1	14	69	9	.	.	0.115	1.0	22.1	172
79	1	15	185	57	.	.	0.053	1.0	0.4	114
79	1	16	52	.	.	.	0.166	2.3	3.9	179
79	1	17	93	.	.	.	0.011	3.0	0.1	157
79	1	18	241	40	.	.	0.007	0.1	0.0	.
79	1	19	101	1	.	.	0.135	2.0	4.1	166
79	1	20	75	4	.	.	0.195	3.6	3.2	228
79	1	21	59	4	.	.	0.143	3.0	10.7	199
79	1	22	118	32	.	.	0.137	1.0	5.4	176
79	1	23	59	3	.	.	0.163	2.0	32.0	214
79	1	24	118	18	.	.	0.059	3.0	0.0	210
79	1	25	101	30	.	.	0.126	4.0	0.0	198
79	1	26	204	30	158	.	-0.001	0.1	0.0	129
79	1	27	47	16	113	.	0.126	4.0	3.1	202
79	1	28	72	12	124	.	0.006	0.8	1.0	.
79	1	29	77	9	65	.	0.229	0.1	0.0	173
79	1	30	29	7	161	.	0.135	3.3	3.5	163
79	1	31	75	10	168	.	0.189	4.0	0.0	195
79	2	1	58	7	159	.	0.168	1.0	5.8	227
79	2	2	65	19	182	.	0.151	2.5	0.0	207
79	2	3	107	38	109	.	0.166	0.1	0.0	198
79	2	4	64	5	75	.	0.189	0.1	0.7	197
79	2	5	90	26	130	.	0.147	3.0	0.0	209
79	2	6	126	33	171	.	0.171	0.1	0.2	229
79	2	7	121	54	145	.	0.086	0.1	0.0	220
79	2	8	102	23	74	.	0.285	0.1	0.0	205
79	2	9	81	19	130	.	0.161	4.0	0.0	209
79	2	10	197	91	181	.	0.002	1.0	0.0	112
79	2	11	211	47	179	.	0.008	1.0	0.0	.
79	2	12	109	29	187	.	0.178	3.2	0.0	192
79	2	13	97	23	114	.	0.129	3.0	0.0	160
79	2	14	269	130	289	.	0.002	1.0	0.0	.
79	2	15	83	26	194	.	0.122	3.0	0.0	157
79	2	16	111	26	278	.	0.165	0.1	0.0	167
79	2	17	115	33	222	.	0.137	2.0	0.0	165

表1 79年早上八時板橋地區空氣品質與微氣象因子(續)

日期			PM10	SOx	NOx	CO	擴散係數直增率	風速	降雨	混合層高
			ug/m3	ppb	ppb	ppb	m/s	m/s	mm/12h	m
79	10	21	156	10	25	18	0.139	4.3	0.0	152
79	10	22	152	10	21	12	0.119	3.0	0.0	155
79	10	23	52	8	120	40	0.143	2.6	0.0	142
79	10	24	61	14	149	53	0.134	1.0	0.0	138
79	10	25	22	3	50	25	0.142	1.0	25.8	152
79	10	26	55	12	184	62	0.142	2.5	0.0	183
79	10	27	54	11	215	66	0.156	2.8	0.0	185
79	10	28	43	6	124	35	0.150	3.0	0.0	175
79	10	29	66	16	195	70	0.049	0.5	0.0	165
79	10	30	220	16	228	60	0.167	2.2	0.0	175
79	10	31	144	15	106	25	0.141	3.0	0.1	149
79	11	1	287	23	144	47	0.063	1.0	0.0	77
79	11	2	199	16	119	43	0.132	2.0	0.0	135
79	11	3	148	19	90	38	0.186	3.2	0.0	104
79	11	4	207	11	142	43	0.089	2.2	0.0	123
79	11	5	237	21	190	62	0.118	3.0	0.0	131
79	11	6	425	51	200	60	0.002	0.6	0.0	146
79	11	7	171	14	175	52	0.072	3.6	0.0	126
79	11	8	192	13	160	42	0.008	1.0	0.0	.
79	11	9	916	60	248	68	0.003	0.6	0.0	108
79	11	10	144	13	311	70	0.154	3.0	0.9	200
79	11	11	117	10	238	37	0.147	3.0	3.5	192
79	11	12	82	5	90	12	0.159	4.0	0.0	195
79	11	13	123	9	153	29	0.140	4.1	0.0	186
79	11	14	132	9	108	30	0.154	4.0	0.0	165
79	11	15	127	8	161	40	0.150	4.0	0.0	162
79	11	16	139	13	212	48	0.124	5.0	0.0	161
79	11	17	115	7	146	39	0.134	4.0	0.0	171
79	11	18	93	16	.	31	0.012	0.4	0.0	.
79	11	19	412	56	154	74	0.009	1.0	0.0	.
79	11	20	526	.	155	.	0.002	0.1	0.0	152
79	11	21	135	15	155	57	0.186	3.8	0.0	188
79	11	22	93	11	128	46	0.163	3.5	0.0	220
79	11	23	111	21	147	50	0.161	3.0	0.0	219
79	11	24	134	11	136	60	0.127	3.0	0.0	195
79	11	25	140	17	101	43	0.111	3.4	0.0	173
79	11	26	166	11	161	76	0.146	2.0	38.1	178
79	11	27	157	5	127	62	0.120	3.0	2.1	166
79	11	28	128	2	107	58	0.085	1.4	0.0	142
79	11	29	194	23	160	79	0.068	1.0	8.0	121
79	11	30	160	11	101	52	0.105	0.5	0.5	156
79	12	1	195	17	103	50	0.115	1.0	1.3	201
79	12	2	73	5	27	12	0.187	4.5	0.0	245
79	12	3	335	25	129	47	0.163	4.4	0.0	260
79	12	4	192	21	170	74	0.154	2.7	0.0	256
79	12	5	133	13	122	50	0.153	2.8	0.0	232
79	12	6	182	13	170	68	0.165	3.2	0.0	204
79	12	7	171	9	107	44	0.086	3.0	0.0	193

表1　79年早上八時板橋地區空氣品質與微氣象因子(續)

日期			PM10 ug/m3	SOx ppb	NOx ppb	CO ppb	擴散係數直增率 m/s	風速 m/s	降雨 mm/12h	混合層高 m
79	12	8	278	47	151	57	0.001	1.0	0.0	.
79	12	9	276	11	113	34	0.179	0.6	0.0	158
79	12	10	200	7	152	62	0.085	2.0	0.0	157
79	12	11	242	11	178	77	0.131	1.2	0.0	192
79	12	12	124	13	103	40	0.183	4.2	0.0	217
79	12	13	195	15	120	41	0.174	2.8	0.0	176
79	12	14	550	51	190	63	0.004	0.1	0.0	101
79	12	15	249	14	191	74	0.163	3.5	0.0	202
79	12	16	160	4	101	36	0.150	3.8	0.0	201
79	12	17	156	15	120	48	0.163	3.0	0.0	173
79	12	18	272	13	185	66	0.166	3.2	0.0	197
79	12	19	182	14	143	49	0.163	3.5	0.0	179
79	12	20	324	20	139	55	0.066	0.1	0.0	143
79	12	21	166	16	143	60	0.130	3.0	0.5	159
79	12	22	188	19	167	59	0.154	4.3	0.0	187
79	12	23	201	12	153	46	0.168	4.4	0.0	212
79	12	24	113	12	151	61	0.100	3.4	0.0	187
79	12	25	313	39	157	35	0.003	0.7	0.0	.
79	12	26	270	8	86	38	0.158	3.6	0.0	211
79	12	27	108	12	127	43	0.185	3.5	0.0	231
79	12	28	305	65	153	44	0.009	0.1	0.0	.
79	12	29	238	21	142	58	0.067	2.0	0.0	183
79	12	30	195	19	113	43	0.147	1.0	1.1	169
79	12	31	223	16	80	41	0.134	0.1	0.5	128

10濃度大於200 μ g/m^{3}者有14天，小於者僅有7天。以單一風速小於1 m/s判斷PM10濃度200 μ g/m^3 之正確率爲53％，以單一擴散係數直增率小於0.01 m/s判斷之正確率有67％，而以風速小於1 m/s及擴數係數直增率0.01 m/s判斷之正確率則提高到83％。這83％中PM10平均濃度高達400 μ g /m^3，其中並包括全年最高値11月3日的916 μ g/m^3 。

圖1則以風速爲x軸繪出全年各日早上八小時之PM10之濃度圖，由圖中亦清楚看出風速愈大濃度愈小。除此之外亦可看出風速大之關係又比風速小來得好。

圖2爲以擴散係數直增率爲x軸繪出其全年各日早上八時之PM10濃度圖。由圖中亦可以看出擴散係數直增率愈大，其濃度愈小。且其中又以擴散係數直增率小於0.01m/s 時之關係較好。

圖3爲以混合層高爲x軸繪出其全年各日早上八日時之PM10的濃度分佈圖。其混合層高度與污染物濃度之關係並不明顯。

圖4爲以降雨量爲x軸繪出全年各日早上八時之PM10的濃度分佈圖。其顯示降雨量愈大，濃度愈低。由以上可知降雨影響空氣中PM10之濃度。

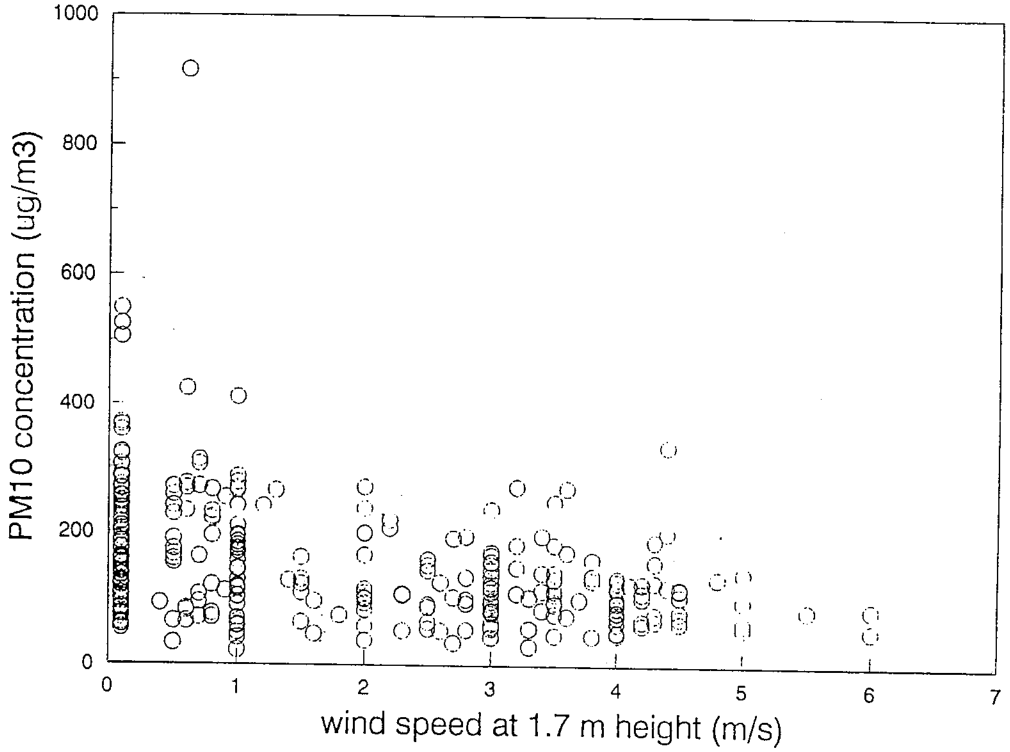

圖 1　民國79年早上八時板橋地區PM10濃度與風速在1.7m高之關係

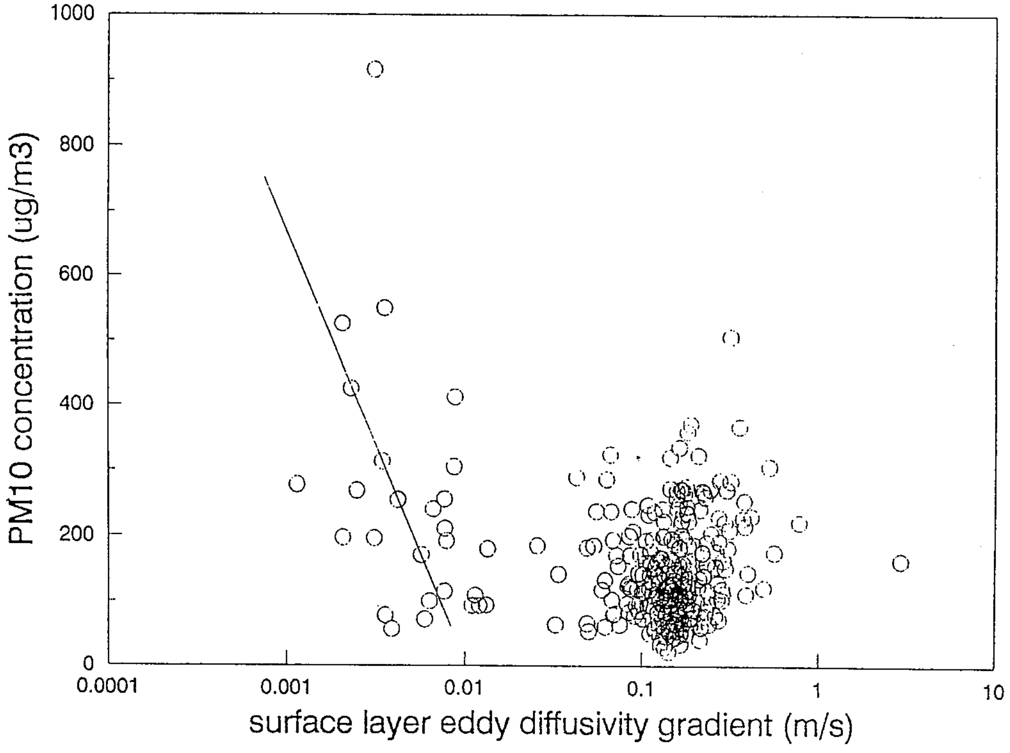

圖 2　民國79年早上八時板橋地區PM10濃度與地表層擴散係數直增率之關係

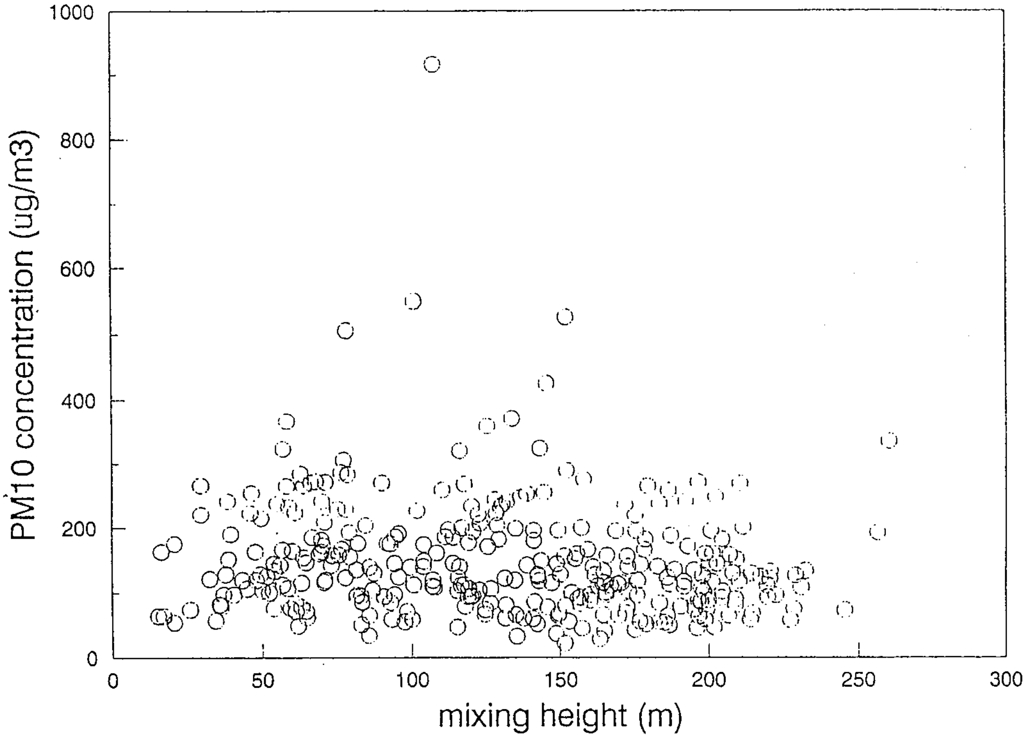

圖 3　民國79年早上八時板橋地區PM10濃度與混合層高之關係

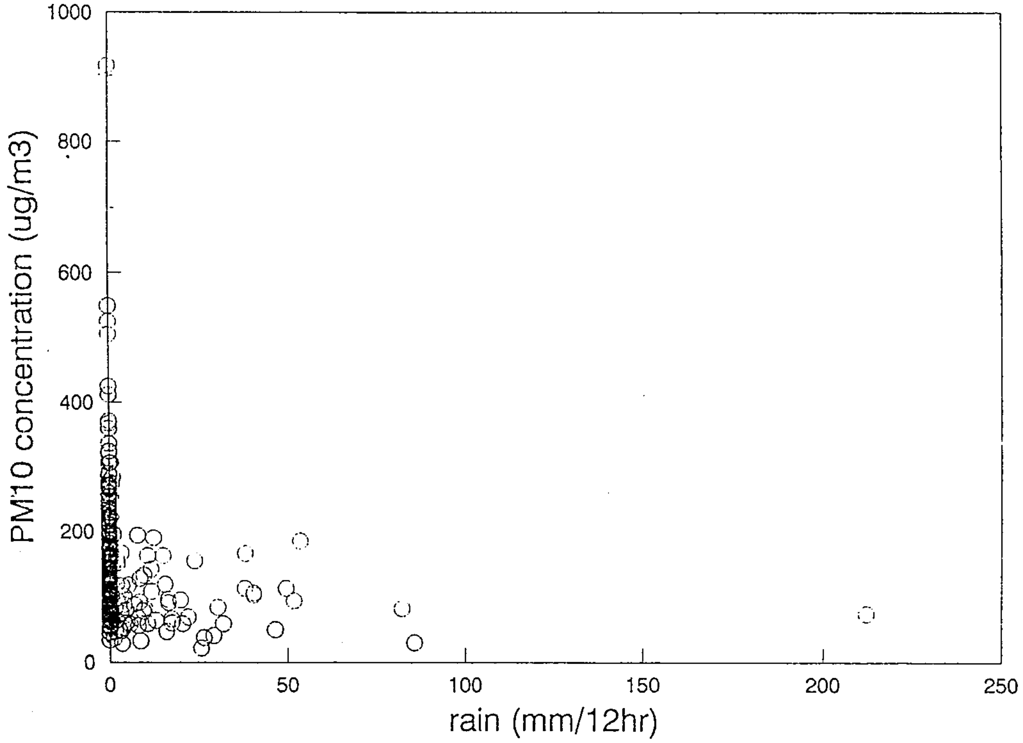

圖 4　民國79年早上八時板橋地區PM10濃度與降雨量之關係

表2 爲PM10濃度與各氣象因子之相關性分析，由表中得與PM10之相關性依次爲擴散係數之倒數、風速、雨量之開根號，最後爲混合層高。

表2 民國79年早上八時板橋地區PM10濃度與各氣象因子之相關性分析，MXH爲混合層高(m),mD爲混散係數直增率(m/s)，u爲1.7m高之風速(m/s) rain爲降雨量(mm/12hr)

	MXH	m_D	$1/m_D$	$1/\sqrt{m_D}$	u	1/u	rain	$\sqrt{rain}$
R^2	0.015	0.0013	0.147	0.116	0.128	0.08	0.017	0.050

對PM10之所有濃度，如以各氣象因子作多收變迴歸發現最理想之迴歸式爲：

$$PM10 = 173 + 0.56/m_D - 20u - 10\sqrt{rain} \quad (11)$$

其中相關係數R^2得0.3。PM10之標準誤差爲78 $\mu g/m^3$，而$1/m_D$，u，$\sqrt{rain}$之係數之標準誤差爲0.07, 3及2.6。注意其中無混合層之項，因其係數之標準誤差大於其係數。以上PM10 之單位爲$\mu g/m^3$，m_D爲m/s，u爲m/s，rain爲mm/12hr。

對於PM10 濃度大於200 $\mu g/m^3$之資料，如以同樣各氣象因子作多變數迴歸，發現最理想之公式爲

$$PM10 = 257 + 0.73/m_D - 59.9\sqrt{rain} \quad (12)$$

其中相關係數R^2達0.43，PM10之標準誤差爲82 $\mu g/m^3$，$1/m_D$，rain項係數之標準誤差分別爲0.11及45。注意式中沒有風速及混合層高因其標準誤差大於其係數。

雖然雨量，風速及擴散係數影響瞬時之空氣品質，但根據前述公式(11)其R^2也只達 0.3，仍有70％左右之空氣品質濃度無法由以上氣象因素來解釋。尤其是在不降雨中低濃度、中低風速及中等以上之擴散係數。在這狀況下，似乎有更重要之因子，影響空氣之品質。

圖5爲PM10之自我相關(Autocorrelat on)的圖，由圖中可發現其相關性無論早上或下午之資料在time lag 1小時達0.855左右，而隨time iag之加大而遞減，但即使time lag 爲一天其仍有0.285 的相關性。其有相關之時間約48小時。這現象是無法以箱形樣式來解釋的，因箱形模式假設風會馬上將污染物帶走而使得自我相關係數極低。這相關性似乎說明了對即時之空氣品質有小部份(30％)是決定於當時之風速及擴散係數，而另外之絕大部份(約70％) 則決定於前一個小時的空氣品質。也就是有70％之空氣污染物會累積在原處達一小時，不會立即爲風吹散。這污染物累積之現象，可能與台北市本身爲一盆地造成山谷風之污染物迴流效應(曠和張1992)，加上高樓林立及近年來高度開發形成熱島效應(Henderson-Sellers and Robinson 1986)等

因素有關。

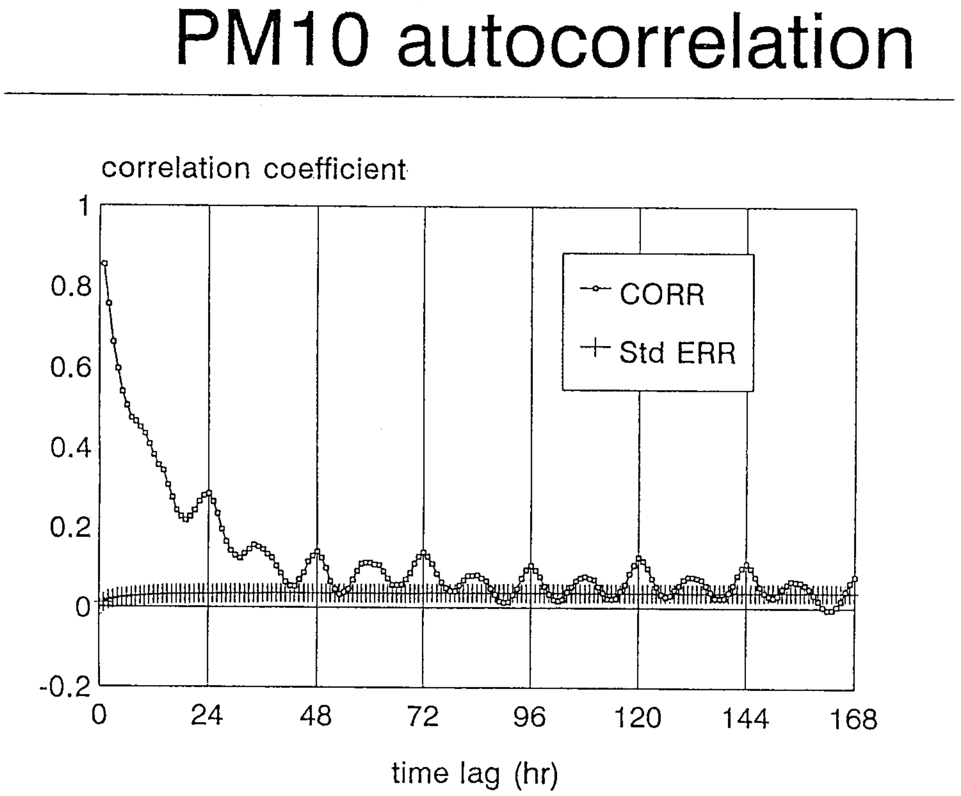

圖 5　民國79年PM10濃度之自我相關(Autocorrelation)圖

由以上可知，如以預報24小時之眼光而言，可以利用早上八時之PM10濃度($PM10^{n-1\,day}$)預報24時後之PM10早上八時濃度。經迴歸分析發現以下列公式爲最理想。

$$PM10 = 136 + 0.29PM10^{n-1day} + 0.53/m_D - 19u - 9.3\sqrt{rain} \qquad (13)$$

其相關係R^2從公式(11)的0.3增加到0.4，其中PM10之誤差爲73 μ g/m^3。而$PM10^{n-1day}$，$1/m_D$，u及$\sqrt{rain}$等項係數之誤差分別爲0.04，0.07，2.6及2.46。注意公式中之係數與公式(11)之係數接近。

如以預報 1小時之情況而言，以早上七時之濃度預報早上八時之濃度，其最理想之公式爲

$$PM10 = 20 + 0.95PM10^{n-1hr} + 0.15/m_D - 2.9u \qquad (14)$$

其相關係數R^2達0.84。而PM10之預報誤差爲38 mg/m^3。其中$PM10^{n-1hr}$，$1/m_D$及u之係數誤差分別爲 0.03，0.04及1.4。注意單單PM10早上七時與早上八時之相關係數R^2爲0.83，因此公式(14)中之氣象因子幫助並不大。

結論與建議

綜合前面之討論可得以下結論：

1.探討擴散係數與空氣品質之關係時，發現除了下雨天之外，一般在擴散係數直增率極小時(0.01 m/s以下)空氣品質急劇惡化，PM10常超過200 μ g/m^3，而SO_2之濃度則超過40 ppb。這情況在冬天發生之機率較大。其影響空氣品質之程度，遠勝於當時之混合層高。但在擴散係數直增率大於0.01 m/s 時，則擴散係數與空氣品質之相關係則變小。在此時其空氣品質與風速之相關度較大，風速愈大，污染物之濃度則愈低。

2.空氣品質約有30％取決於即時之氣象條件，絕大部份(約70％)則由於污染物之累積效應，污染物之累積可達兩天。以24小時預報而言，公式(13)為最理想，其相關係數R^2達0.4。

3.除此之外，在這研究並未考慮污染量排放之變動性。圖6 為PM10每小時濃度之頻譜分析。由圖中可發現其有 4.8小時、8小時、12小時、24小時及14天等周期。其中8小時之周期顯然是污染量排放之周期性所造成，而非氣象因素，而12及24小時之周期則與氣象及排放量都有關係。這也應於未來作更深入之探討。

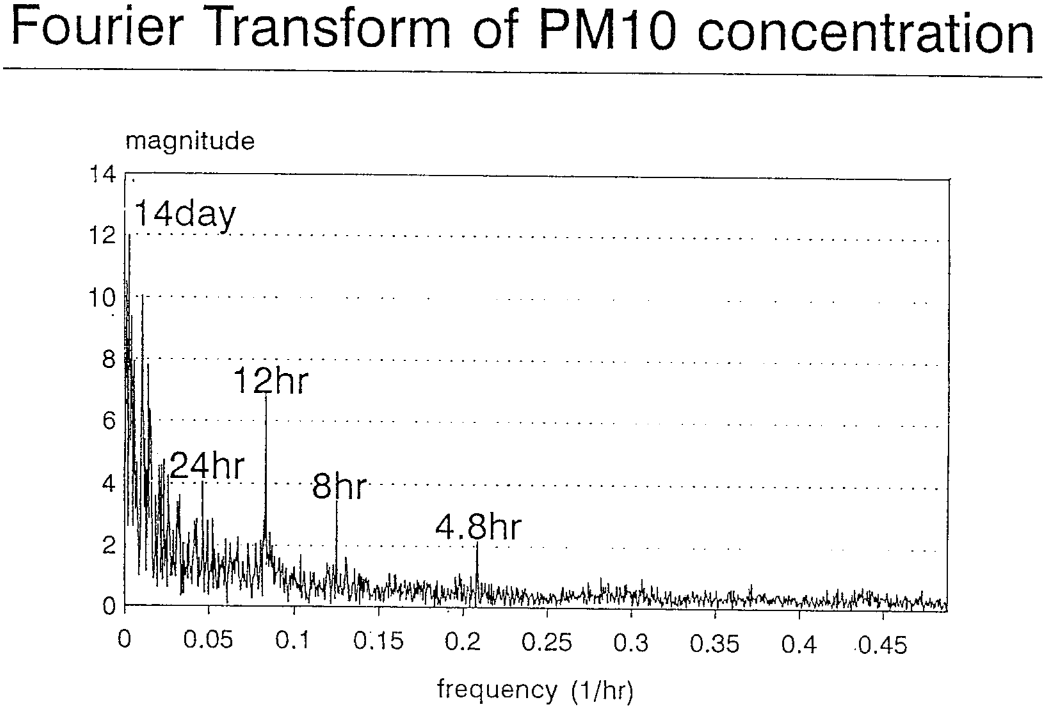

圖 6　民國79年板橋地區PM10濃度頻譜分析圖

誌　　謝

本計畫受國科會補助，計畫編號NSC81－0421－E005－12－E。並感謝龐正大研究生及李志祥同學協助資料蒐集及程式之撰寫。

引用文獻

張能復　簡慶芳. 1986. 台北市能見度作爲空氣污染指標之研究. 第三屆空氣污染控制技術研討會，第35－p48頁.

蔡俊源等6人. 1988. 台北市地區空氣品質監測資料之一氧化碳、二氧化硫及粒狀物濃度之變化特性研究. 第五屆空氣污染控制技術研討會，第162－191頁.

劉志堅　鄭福田. 1988. 台北市地區空氣品質監測資料之一氧化碳、二氧化硫及粒狀物濃度之變化特性研究. 第五屆空氣污染控制技術研討會，第141－161頁.

李崇德　林斌龍　廖志輝. 1989. 台北都會區懸浮微粒濃度與氣象因子之關係研究. 第六屆空氣污染控制技術研討會，第154－179頁.。

吳清吉　王喜弘. 1990. 氣象條件對空氣品質的影響. 第七屆空氣污染控制技術研討會，第229－244頁.

李清勝. 1990.「即時氣象資訊應用在空氣品質分析的研究與實驗」，EPA－79－007－11－162，行政院環保署.。

張能復. 1989.「台灣地區空氣污染預警系統建置之研究專案研究計畫」，EPA－78－007－11－001，行政院環保署.

張能復. 1990.「台灣地區空氣污染預警系統建置之研究專案研究計畫」，EPA－79－007－08－159，行政院環保署.

Anderson, E. A. 1990. Point Energy and Mass Blanace Model of a Snow Cover. Tech nical Report NWS 19, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC., 150 pp.

Tsuang, B. J. 1990. Climate Processes of Lake Evaporation and Snowmelt Runoff：Part I. Evaporaion Rates from Temperature－Stratified Saline Lakes－Mono Lake as a Case Study; Part II. Snowmelt Runoff and Climate Change－Emerald Lake as a Case Study Ph.D. Dissertation, Civil Engineering Department, UCLA.

李慧梅. 1985. Methods for the Determination of Atmospheric Stability for Air Quali ty Models. 第二屆空氣污染技術研討會，第43－58頁.

Brutsaert, W. H. 1982. Evaporation into the Atmosphere, D. Reidel Publish Company, 299 pp.

Oke, T. R. 1987. Boundary Layer Climates, 2ed, Methuen：London & New York, 435 pp.

Landsberg, H. E. 1981. 都市氣候學，鄭師中譯，徐氏基金會出版，261頁.

Holzworth, G. C. 1972. Mixing Heights, Wind Speeds and Potential for Urban Air Pollution through the contiguous united states AP－101, U.S. EPA. Raleigh, NC.

江旭程　何彌亮　游琇如. 1991. 交談式氣象資料處理程式. 第八屆空氣污染控制技術研討會，第219－232頁.

曠永銓　張能復. 都會區光化學空氣污染事件之數値實驗研究. 第九屆空氣污染控制技術研討會，第415－428頁.

Henderson－Sellers, A. and P. J. Robinson 1986. Contemporary Climatology, Longman Scirntific Technical, 439pp.